

日本国特許庁
JAPAN PATENT OFFICE

PCT/JP2004/005853

23.4.2004

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出願年月日
Date of Application: 2003年 4月23日

出願番号
Application Number: 特願2003-119065

[ST. 10/C]: [JP2003-119065]

REC'D 01.III.2004
WIPO PCT

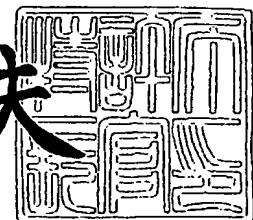
出願人
Applicant(s): HOYA株式会社

PRIORITY DOCUMENT
SUBMITTED OR TRANSMITTED IN
COMPLIANCE WITH
RULE 17.1(a) OR (b)

2004年 6月 2日

特許庁長官
Commissioner,
Japan Patent Office

今井康夫



【書類名】 特許願

【整理番号】 D2411-HOY

【提出日】 平成15年 4月23日

【あて先】 特許庁長官殿

【国際特許分類】 H01L 33/00

【発明者】

【住所又は居所】 東京都新宿区中落合2丁目7番5号 HOYA株式会社
内

【氏名】 川副 博司

【発明者】

【住所又は居所】 東京都新宿区中落合2丁目7番5号 HOYA株式会社
内

【氏名】 折田 政寛

【特許出願人】

【識別番号】 000113263

【氏名又は名称】 HOYA株式会社

【代理人】

【識別番号】 100086368

【弁理士】

【氏名又は名称】 萩原 誠

【手数料の表示】

【予納台帳番号】 041793

【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【ブルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 発光ダイオード

【特許請求の範囲】

【請求項1】 電子注入用電極すなわちn電極と、正孔注入用電極すなわちp電極と、前記n電極およびp電極の間に両電極に接触するように配置された無機発光層を備えた発光ダイオードであって、前記発光層は同時二極性無機半導体材料で形成されていることを特徴とする発光ダイオード。

【請求項2】 請求項1に記載の発光ダイオードにおいて、

前記無機半導体材料は、電子と正孔との易動度の比が1/100～100の範囲であることを特徴とする発光ダイオード。

【請求項3】 請求項1に記載の発光ダイオードにおいて、

前記無機半導体材料は、正孔及び電子の室温における易動度が共に $10^{-1} \text{ cm}^2/\text{V s}$ 以上であることを特徴とする発光ダイオード。

【請求項4】 請求項1に記載の発光ダイオードにおいて、

前記無機半導体材料は、不純物イオン濃度が0.1%以下であることを特徴とする発光ダイオード。

【請求項5】 請求項1～4いずれかに記載の発光ダイオードにおいて、

前記無機半導体材料は、II-VI族化合物、もしくは、Znと、S、Se、Teから選ばれる少なくとも一つの元素とを有していることを特徴とする発光ダイオード。

【請求項6】 請求項1～4いずれかに記載の発光ダイオードにおいて、

前記無機半導体材料は、III-V族化合物、もしくは、Nと、Al、Ga、Inから選ばれる少なくとも一つの元素とを有していることを特徴とする発光ダイオード。

【請求項7】 請求項1～4いずれかに記載の発光ダイオードにおいて、

前記無機半導体材料は、sp³混成軌道を形成している炭素が主成分であることを特徴とする発光ダイオード。

【請求項8】 請求項1～7いずれかに記載の発光ダイオードにおいて、

前記n電極を構成する要素として少なくとも同時二極性無機半導体材料にn型ドーパントを拡散したn型無機半導体材料を用いて形成されていることを特徴とする発光ダイオード。

【請求項9】 請求項1～7いずれかに記載の発光ダイオードにおいて、前記p型電極を構成する要素として少なくとも同時二極性無機半導体材料にp型ドーパントを拡散したp型無機半導体材料を用いて形成されていることを特徴とする発光ダイオード。

【請求項10】 請求項1～7いずれかに記載の発光ダイオードにおいて、前記n型電極が同時二極性無機半導体材料にn型ドーパントを拡散したn型無機半導体材料を用いて形成されており、かつ、前記p型電極が同時二極性無機半導体材料にp型ドーパントを拡散したp型無機半導体材料を用いて形成されていることを特徴とする発光ダイオード。

【請求項11】 請求項1～10いずれかに記載の発光ダイオードにおいて、結晶性基板もしくはガラス基板上に、前記n電極もしくは前記p電極が成膜され、その上に同時二極性無機半導体材料が積層され、その上に前記p電極もしくは前記n電極が積層されていることを特徴とする積層型発光ダイオード。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、半導体を用いた二端子型の発光素子、すなわち、発光ダイオードに関する。

【0002】

【従来の技術】

【非特許文献1】

後藤顕也著、オプトエレクトロニクス入門、75頁、オーム社、1981年

【非特許文献2】

アプライド・フィジクス・レター、57巻、1990年、2127頁

半導体を用いた発光素子は、表示や光源として広く用いられ、近年は白熱電球や蛍光灯に代わる照明として用いられ始めた。このような発光素子の一つとして、発光ダイオードがある。

【0003】

発光ダイオードは、p型の無機半導体とn型の無機半導体を接合したものである(pn接合、従来文献の例として【非特許文献1】がある)。p型半導体およびn型半導体は、半導体にp型もしくはn型のドーパントを拡散させて形成する。p型ドーパントは、半導体内に正孔を生成し、n型ドーパントは、半導体内に電子を生成する。

pn接合型発光ダイオードは、p型半導体とn型半導体を接合することにより、作製する。pn接合型発光ダイオードに順方向の電圧を印加することにより、n型半導体内に存在する電子と、p型半導体内に存在する正孔を、pn接合部で再結合させて、発光を得る。

このようなp型半導体としてNをドープしたZnSeがあり、n型半導体としてClをドープしたZnSeがあり、両者を接合してZnSe系の発光ダイオードが作製されている(従来文献の例として【非特許文献2】がある)。

【0004】

【発明が解決しようとする課題】

pn接合型発光ダイオードでは、通常、濃度 $10^{17}/\text{cm}^3$ 以上の多量のドーパントを無機半導体中に添加しなければ、p型半導体またはn型半導体として十分な電気伝導性が得られない。このため、このドーパントにより、半導体結晶内に歪み・欠陥等が生じ、これらが消光中心となって発光効率が低下させたり、また、不要な波長の発光を誘発させたりする。そして、従来のpn接合型発光ダイオードでは、使用できる半導体材料の範囲が限定される。例えば、p-ZnSはいまだ開発されていないので、ZnSを用いたpn接合ダイオードは作製されていない。

【0005】

【課題を解決するための手段】

前記課題を解決するために、本発明は、次の構成を有する発光ダイオードを提供する。

すなわち本発明による発光ダイオードは、電子注入用電極すなわちn電極と、正孔注入用電極すなわちp電極と、両電極に接触するように配置された発光層を具備し、前記発光層は、電子輸送性と正孔輸送性を併せ持った同時二極性無機半導体であることを特徴とする。

この同時二極性無機半導体は、前述した従来の p-n 接合型発光ダイオードと異なり、所望の極性を得るためにドーパントを含まないので、結晶構造の歪み、欠陥が誘起されない。このため、消光中心による発光効率の低下や不要な波長の発光といった問題が、誘起されない。また、p 型半導体と n 型半導体の両者を用いて構成する発光ダイオードではないので、p 型半導体や n 型半導体が存在しない半導体を用いても、本発明の発光ダイオードを作製できる。たとえば、ZnS をもちいた発光ダイオードが実現できる。

【0006】

【発明の実施の形態】

以下、本発明の実施の形態を、図面を参照しながら詳細に説明する。

(1) 構造

図 1 は、本発明の一つの実施形態である発光ダイオードの構造を示す図である。本発明の発光素子は、基板 11 上に、n 電極 12 を形成し、その上に発光層である同時二極性半導体 13 を積層し、さらにその上に p 電極 14 を積層している。ここでの n 電極と p 電極とは、相互に交替しても良い。すなわち、p 電極の上に同時二極性半導体を形成し、さらにその上に n 電極を積層しても良い。n 電極に用いる材料は、発光層中に電子を注入可能な金属、もしくは、半導体である。p 電極に用いる材料は、発光層中に正孔を注入可能な金属、もしくは、半導体である。一般には、両電極に用いる材料と、発光層に用いる材料は、異なっていてよい。

図 2 は、従来の p-n 接合型発光ダイオードの代表的な構造を示す図である。導電性基板 21 の上に p 型半導体 23 および n 型半導体 24 を積層し、導電性基板 21 の下面と n 型半導体 24 の上面に金属電極 22 および 25 を形成している。一般には、p 型半導体と n 型半導体は、同一の半導体を母結晶として用いる。

【0007】

(2) 全体動作

以下に、図 1 を参照して、全体動作を説明する。

n 電極 12 の電位に対して正の電位を p 電極 14 に印加すると、n 電極 12 から電子が、p 電極 14 から正孔が、それぞれ発光層 13 中に注入される。発光層

13中の電子と正孔は互いに再結合し、発光層13を形成する同時二極性半導体のバンド端間エネルギー差に相当する波長の光を発する。もしくは、発光層13中でエキシトンが安定である場合には、エキシトンの結合エネルギーの相当する波長の光を発する。

上記のように、本発明による発光ダイオードにおいては、発光源である電子と正孔は、すべて電極を介して外部から発光層に注入されるものである。したがって、発光層へのドーピングを必要としない。

【0008】

(3) 各部の詳細（機能・材料・製造法等）

以下、本発明の発光ダイオードの各部位について、更に詳細に説明する。

①基板

基板は、その上に形成する各層の土台となる。

発光層にZnSを用いる場合には、ZnS単結晶基板、GaP単結晶基板、Si単結晶基板、サファイア基板、ガラス基板などを用いることができる。

発光層にZnSeを用いる場合には、ZnSe単結晶基板、GaAs単結晶基板、Si単結晶基板、サファイア基板、ガラス基板などを用いることができる。

発光層にGaNを用いる場合には、GaN単結晶基板、SiC単結晶基板、Si単結晶基板、サファイア基板、ガラス基板などを用いることができる。

発光層にSiCを用いる場合には、SiC単結晶基板、Si単結晶基板、サファイア基板、ガラス基板などを用いることができる。

発光層にC(ダイヤモンド)を用いる場合には、ダイヤモンド単結晶基板などを用いることができる。

発光層に、種々同時二極性半導体の、アモルファスを用いる場合には、ガラス基板などを用いることができる。

【0009】

②発光層

発光層には同時二極性を有する無機半導体を用いる。ここで半導体は、歪みや欠陥を持たず、ドーパントなどの不純物イオンを含まないことが好ましい。このような無欠陥高純度無機半導体を用いることにより、発光部位から消光中心を除

去し、不要な波長の発光の誘発を抑制し、発光効率の低下を抑制することができる。

【0010】

ここで半導体は同時二極性を持たなくてはならない。同時二極性を有する半導体とは、電子輸送性と正孔輸送性を同時に有する半導体である。同時二極性は、たとえば、パルス光励起による飛行時間法により測定できる。半導体が同時二極性を持たない場合、すなわち電子および正孔の少なくとも一方の輸送性が無い場合は、電子及び正孔の再結合現象を半導体中で誘起することができず、半導体を有効な発光層とすることはできない。同時二極性を有する半導体に注入した電子と正孔は、半導体内で互いに再結合し、通常、発光準位間のエネルギー差に相当する光を発する。

【0011】

n電極とp電極の中間で、効率的に再結合を起こすためには、電子輸送性と正孔輸送性が同程度であることが好ましい。電子の移動度と正孔の移動度が極端に異なると、両キャリアの再結合は、電極と発光層の界面で生じ、充分に高い発光効率を得ることが困難になる。なぜなら、界面付近では、電極層との接合プロセスにおいて、発光層中に不純物が混入したり、発光層の結晶性が劣化したりするのが通常だからである。そこで本発明では、両キャリアの移動度の比が発光層中の発光部位に与える影響を調べ、移動度の比の好ましい範囲を明らかにした。

【0012】

本発明の発光ダイオードについて、シミュレーション計算により移動度の比の好ましい範囲を検討した。計算には、日本シルバコ製半導体シミュレーターBLAZEを用い、図1に示す発光ダイオードの断面を格子状に分割して、二次元モデルとし、各格子点上でポアソン方程式と電流連続方程式を連立して解いた。

計算に用いた発光ダイオードの断面モデルを、図3および図4に示す。基板材料はGaAsであり、n電極としてn-ZnSeを100 nm堆積し、発光層としてZnSeを500 nm積層し、さらにp電極としてp-ZnSeを100 nm積層した構造である。基板とn電極の界面に、n電極と非整流接合する金属電極を貼り、p電極の表面に、p電極と非整流接合する金属電極を貼ってある。両電極内のnドーパントおよ

びpドーパントの密度は、 $1 \times 10^{18}/\text{cm}^3$ であり、1つのドーパントが1つのキャリアを生成すると仮定した。いずれの層内に於いても、電子の移動度は $20 \text{ cm}^2/\text{Vs}$ に固定した。正孔の移動度は、図aでは、 $20 \text{ cm}^2/\text{Vs}$ であり、図bでは、 $5 \text{ cm}^2/\text{Vs}$ であり、図cでは、 $1 \text{ cm}^2/\text{Vs}$ であり、図dでは、 $0.1 \text{ cm}^2/\text{Vs}$ である。

【0013】

図3および図4において、再結合発光速度の計算結果を、 $0 \sim 1 \times 10^{20}/\text{scm}^3$ の範囲で、グラデーション(明度)で示してある。これにより、発光ダイオード断面内における発光部位を見ることができ、白色部ほど再結合発光速度が大きい。正孔の移動度が、電子の移動度に比して、小さくなるにしたがって、発光部位が電極間の中心位置からずれ、p電極側に移動する様子が見える。

この検討結果から見て、移動度の比は、1に近いことが好ましい。具体的には、 $1/100 \sim 100$ である。より好ましくは、 $1/10 \sim 10$ である。実験上、移動度は通常のホール効果測定あるいはパルス光励起による飛行時間法によって測定できる。

【0014】

発光強度を得るためにには、半導体の電子及び正孔の移動度は、ともに大きいことが好ましい。移動度が小さくなると、半導体中の電子電流もしくは正孔電流が小さくなり過ぎ、充分に高い発光強度を得ることができない。

上記計算において、移動度と電流との関係を検討した結果の一部を、図5に示す。横軸は陽極に印加した電圧(V)、縦軸は陽極電流(A)である。ただし、ダイオードのx軸方向の幅は 10 nm であり、z軸方向(図面の奥方向)の幅は $1 \mu\text{m}$ である。したがって、 cm^2 あたりの電流密度は、グラフの値を 10^{11} 倍して得られる。グラフに付したアルファベットは、図3および図4に記載した、両キャリアの移動度の組に対応している。すなわち、グラフのすべての場合に於いて、電子移動度は $20 \text{ cm}^2/\text{Vs}$ である。aの場合には、正孔移動度は $20 \text{ cm}^2/\text{Vs}$ であり、5V印加時の電流密度は 450 A/cm^2 となった。正孔の移動度が下がるにつれ、電流値が小さくなつた。これは、図3および図4において、正孔の移動度が下がるにつれ、発光強度が弱くなっていることに対応している。dの場合には、正孔移動度は $0.1 \text{ cm}^2/\text{Vs}$ であり、5V印加時の電流密度は、 2.4 A/cm^2 であった。さらに電子移動度及び正孔移動度をともに $0.1 \text{ cm}^2/\text{Vs}$ とした場合には、得られる電流値はより小さくな

った。これから、両キャリアの移動度が $0.1 \text{ cm}^2/\text{Vs}$ よりも小さい場合には、実用的な強度の発光を期待できないと判断できる。

この検討結果から見て、両キャリアの移動度は大きいことが好ましい。具体的には、 $0.1 \text{ cm}^2/\text{Vs}$ 以上が好ましく、より好ましくは $1 \text{ cm}^2/\text{Vs}$ 以上であり、さらに好ましくは $10 \text{ cm}^2/\text{Vs}$ 以上である。

【0015】

両キャリアの移動度は、n電極とp電極の間の距離に影響を与える。両キャリアの移動度が充分に大きければ、両電極から注入したキャリアは、同時二極性半導体内を移動して、互いに再結合できるので、両電極間の距離を広く取ることができます。電極間距離は $10\text{nm} \sim 10 \mu\text{m}$ が適当である。電極間距離を 10 nm 以下とすると、両キャリアの再結合位置が電極／発光層界面に近くなり過ぎ、界面における結晶構造の乱れを受けやすい。一方、電極間距離を $10 \mu\text{m}$ 以上とすると、素子が高抵抗となり、充分な電流を注入できなくなる。図1のように、n電極、発光層およびp電極を順次積層して素子を作る場合には、電極間距離は、発光層の厚みで決まる。

【0016】

同時二極性半導体の室温における比抵抗値は大きいことが好ましい。同時二極性半導体内には、もともとキャリアが存在せず、n電極およびp電極から注入するキャリアのみが同時二極性半導体内を移動するのが理想的である。ここでもともとのキャリアとは、同時二極性半導体中に存在する欠陥や不純物イオンによって生成される正孔または電子である。したがって比抵抗値が大きいと言うことは、欠陥が少ない良質な結晶であるという意味もあり、不純物イオンを含まない結晶であるという意味もある。具体的には、室温における比抵抗値が $10^8 \Omega\text{cm}$ 以上であることが好ましい。さらに好ましくは、 $10^{10} \Omega\text{cm}$ 以上である。直流比抵抗値が $10^8 \Omega\text{cm}$ 以下となると、欠陥もしくは不純物イオンによって生成されるキャリアの密度が高くなり、ソース電極およびドレイン電極から注入されるキャリアの比率が相対的に小さくなって、発光素子としての制御性が阻害される。

【0017】

比抵抗値の測定には、四端子法など、通常の直流抵抗測定法を用いることは適

当でない。使用する金属電極の仕事関数が、同時二極性半導体内に電子を注入できるほど小さいか、もしくは、正孔を注入できるほど大きい場合には、同時二極性半導体内のキャリア密度は電極から流入したキャリアに支配される。このため、同時二極性半導体内にもともと存在するキャリアによる抵抗値を測定することができない。反面、使用する金属電極の仕事関数が、同時二極性半導体内に、電子を注入できるほど小さくなく、かつ、正孔を注入できるほど大きくなっている場合には、同時二極性半導体内に電流を供給することができない。したがって、すべての場合において、同時二極性半導体本来の直流抵抗値を測定することはできない。

比抵抗値は、パルス光励起による飛行時間法によって同時二極性半導体の移動度を求め、かつ、容量電圧測定法によって同時二極性半導体内のキャリア密度を求めれば、両者から算出することができる。また、同時二極性半導体内にキャリアを注入しない電極を用いて、交流抵抗を求める方法によっても測定できる。

【0018】

同時二極性半導体内のキャリア濃度の観点から見るならば、キャリア濃度は $10^{16}/\text{cm}^3$ 以下であることが好ましい。更に好ましくは、 $10^{14}/\text{cm}^3$ 以下である。キャリア濃度が $10^{16}/\text{cm}^3$ 以上となると、ソース電極およびドレイン電極から注入されるキャリアの比率が相対的に小さくなって、発光素子としての制御性が阻害される。同時二極性半導体内のキャリア濃度は、容量電圧測定法によって測定できる。

【0019】

同時二極性半導体内のドーパントイオン濃度の観点から見るならば、ドーパントイオン濃度は原子比で0.1 %以下であることが好ましい。更に好ましくは1 ppm以下である。ドーパントイオン濃度が0.1 %以上となると、ソース電極およびドレイン電極から注入されるキャリアの比率が相対的に小さくなって、発光素子としての制御性が阻害される。ドーパントイオン濃度は、X線光電子分光法、X線蛍光測定法、誘導結合プラズマ分析法、二次イオン質量分析法などによって測定できる。

【0020】

同時二極性半導体として用いる材料は、純度の高い真性半導体が最も良い。後述するように同時二極性半導体として、ZnS系以外には、他のII-VI族半導体や、III-V族半導体、炭素系、SiC、さらには、CuInO₂等の半導体酸化物、Si₃N₄、AlN等の半導体窒化物等の結晶材料が使用できる。

ここでII-VI族半導体とは、周期律表上のIIB族元素であるZn、Cd、Hgのうちの少なくとも一つの元素と、VIA族元素であるO、S、Se、Te、Poのうちの少なくとも一つの元素とからなる半導体であり、例えば、ZnO、ZnS、ZnSe、ZnTe、CdO、CdS、CdSe、CdTe等である。また、ここでIII-V族半導体とは、周期律表上のIIIA元素であるB、Al、Ga、In、Tlのうちの少なくとも一つの元素と、VA族元素であるN、P、As、Sb、Biのうちの少なくとも一つの元素とからなる半導体であり、例えば、AlN、AlP、AlAs、GaN、GaP、GaAs、InN、InP、InAs等である。

同時二極性半導体として結晶材料を用いる利点は、移動度が高いこと、バンド端の局在準位による無輻射遷移が少ないこと、ZnSe、ZnS、C(ダイヤモンド)などでは自由励起子が安定に存在して、高効率の発光に寄与すること、などである。

【0021】

一方、同時二極性半導体として、CやSiなどのアモルファス半導体を用いることもできる。同時二極性半導体としてアモルファス材料を用いる利点は、成膜温度が低いこと、組成の自由度が高いこと、等方的物性を有することなどである。特に成膜温度が低いため、プラスチック材料を基板として使用できるなど、基板の選択範囲が広くなる。

【0022】

発光層である同時二極性半導体内に注入した電子と正孔は、互いに再結合し、発光準位間のエネルギー差に相当した波長で発光する。発光準位とは、発光に寄与する電子の準位と正孔の準位の組を意味し、その位置は、幾つかの場合に分けられる。

第一の発光準位の組は、伝導帯端と価電子帯端である。この場合、発光準位間のエネルギー差は、同時二極性半導体の禁制帯幅に相当する。第二の発光準位の組は、エキシトン準位と価電子帯端、もしくは、エキシトン準位と伝導帯端であ

る。第三の発光準位の組は、同時二極性半導体中に存在する欠陥による準位と、伝導帯もしくは価電子帯もしくは欠陥による準位の組である。本発明では、欠陥による準位の存在は好ましくなく、同時二極性半導体はできるだけ完全な結晶もしくはアモルファスであることが好ましい。

【0023】

以下、発光層として用いる同時二極性半導体を物質系ごとに個別に説明する。

(1) ZnS系半導体

ZnS系発光層は、ZnとS、Se、Teから選ばれる少なくとも一つの元素とを含む物質であり、具体的にはZnS、ZnSe、ZnTe、ZnS_xSe_(1-x) (0 < x < 1)等が挙げられる。これらの物質は融点が高く、室温で安定であり、日光に照射しても変質しないので、本発明の発光ダイオードに高い信頼性を与える。

【0024】

ZnS系発光層は、アモルファスでも良いが、発光効率の観点から見れば、結晶性であるのが好ましい。結晶構造は、発光層のバンド構造を決定し、発光波長や発光効率を決定するので、重要な要素である。ZnS、ZnSeおよびZnTeの結晶は、ZnS型(β -ZnS構造、Znic Blend構造)、もしくは、ウルツ鉱型(α -ZnS構造)の結晶構造を有し、どちらの結晶構造も本発明の発光層として用いることができる。

【0025】

(A) ZnS

ZnSにはZnS型結晶構造の他に、ウルツ鉱型結晶構造があり、ZnS型が低温相であり、1,020°Cでウルツ鉱型に転移する。ZnSは禁制帯幅3.7 eVを持つ。3.7 eVのエネルギーは、光の波長として335 nmに対応する。またZnSは直接遷移型半導体であり、これが高い発光効率の一因である。すなわち、電子と正孔の再結合発光係数を直接遷移型と間接遷移型で比較すると、直接型の方が4桁くらい大きい。発光はZnSのバンド端に存在する電子と正孔の直接の再結合、もしくは、バンド端近くに位置するエキシトンの再結合によるので、本発明の発光ダイオードは、波長335 nm付近の紫外光を発する。

【0026】

これまで、ZnSによるp-n接合型発光ダイオードは、実現していない。ZnSの価電子帯中に正孔を注入する技術が存在しないので、p-ZnSは実現されていないからである。このため、ZnSを用いた電流注入型発光デバイスにおいては、正孔は、ショットキーバリアを通して(MESデバイス)、または、トンネル放出(電界放出)によって(MISデバイス)、もしくは界面準位から、注入されてきた。このため、充分に大きな電流を、実用に適した低電圧で注入することができず、ZnSを用いた発光デバイスは、広く社会に普及するに至っていなかった。

【0027】

本発明の発光ダイオードでは、発光層へのドーピングは行わないので、p-ZnSは必要でない。本発明では、発光層であるZnS層に、オーミックに接合するp電極とn電極とを接触させ、ZnS層中に正孔と電子を効率よく注入するため、充分に大きな電流を、実用に適した低電圧で流すことができ、実用性の高い固体発光素子を実現することができる。

【0028】

(B) ZnSe

ZnSeは、ZnS型結晶構造を有し、禁制帯幅2.8 eVを持つ、直接遷移型のワイドギャップ半導体である。半導体特性には、ZnSやZnTeより優れている面がある。禁制帯幅はZnSより狭い。2.8 eVのエネルギーに対応する光の波長は440 nmであるので、440 nmより長い波長を持つ、可視光及び赤外光の発光に利用できる。ZnSと同様に、直接遷移型半導体であるので、再結合発光係数が大きい。発光はZnSeのバンド端に存在する電子と正孔の直接の再結合、もしくは、バンド端近くに位置するエキシトンの再結合によるので、本発明の発光ダイオードは、波長440 nm付近の青色光を発する。

【0029】

ZnSeにはn型およびp型のドーピングが可能であるため、p-n接合を作製できるだけでなく、発光ダイオードやレーザー・ダイオードという発光デバイスが実現されている。ZnSeのp-n接合による発光ダイオードは、発光特性に優れ、視感効率として8 lm/Wが実現された(板東完治ら、応用物理、第71巻、1518頁、2002年)。

ところがZnSe系発光デバイスは、素子構造が複雑である。また、素子寿命が短いため、実用化されるに至っていない。これはp-またはn-ドープ等により、ZnSe結晶中に生成する欠陥が、電界印加中に増殖し、消光中心として働くようになるためと考えられている。

【0030】

一方、本発明の発光ダイオードでは、発光層にドーピングは行わない。発光層であるZnSe層に、オーミックに接合するp電極とn電極を接触させ、ZnSe層中に正孔と電子とを注入すればよい。このため電極材料を幅広く選択することができ、また、素子構造を単純化することができる。また、発光層であるZnSeは、p型もしくはn型のドーパントを含まないので、ドーパントによる結晶性の低下が起こらず、欠陥密度が低く、電界印加による欠陥密度の増殖が起こりにくく、長い素子寿命を実現できる。

【0031】

(C) ZnTe

ZnTeは、ZnS型結晶構造もしくはウルツ鉱型結晶構造を有し、禁制帯幅2.3 eVを持つ、直接遷移型のワイドギャップ半導体である。半導体特性には、ZnSやZnTeより優れている面がある。禁制帯幅はZnSeより狭い。2.3 eVのエネルギーに対応する光の波長は520 nmである。ZnSと同様に、直接遷移型半導体であるので、再結合発光係数が大きい。発光はZnTeのバンド端に存在する電子と正孔の直接の再結合によるので、本発明の発光素子は、波長520 nm付近の緑色光を発する。

【0032】

本発明の発光ダイオードでは、発光層にドーピングは行わない。発光層であるZnTe層に、オーミックに接合するp電極およびn電極を接触させ、ZnTe層中に両キャリアを注入すれば、発光素子を実現できる。

【0033】

(D) 固溶体

ZnS、ZnSeおよびZnTeは同一結晶構造を有し、互いに全域固溶するため、ZnSe_xSe(1-x)やZnS_yTe(1-y)などの固溶体を作ることができ、本発明の発光層と

して用いることができる。S→Se→Teと置換するに従って、バンドギャップが狭くなるため、より長波長の発光が可能になる。

バンド端のエネルギー差は、ZnSは3.7 eVで波長335 nmに、ZnSeは2.8 eVで波長440 nmに、ZnTeは2.4 eVで波長520 nmに相当する。Znの一部をCd、Mg、Ca、Sr、Ba等で置き換えることも可能である。例えば、Zn_xCd(1-x)S、Zn_xMg(1-x)Se、Zn_xCa(1-x)Te、Zn_xCd(1-x)Se_yS(1-y)などを発光層として用いることができる。この場合、置換されるZnはZnのうちの10 %程度までである。Znの一部を置き換えることにより、バンドギャップを広げたり狭めたりできるため、発光波長を調整することが可能になる。

【0034】

(2) GaN系半導体

本明細書においてGaN系半導体とは、Ga、In、Alから選ばれる少なくとも一つの元素とNとを含む物質であり、具体的にはGaN、InN、AlN、Ga_xIn(1-x)N、Ga_xAl(1-x)Nなどを挙げられる。In→Ga→Alと置換するに従って、伝導帯端の位置を制御し、禁制帯幅を広げることができるために、より短波長の発光が可能になる。GaN系半導体は直接半導体であるため、伝導帯にある電子と価電子帯にある正孔間の発光再結合確率が高く、高効率発光を実現できる。GaN系半導体は、高結晶性であることが好ましい。

【0035】

(3) SiC系半導体

本発明において、SiC系半導体とは、SiとCを含む物質である。SiC結晶には、数多くの多形が存在し、結晶構造ごとに物性値は異なる。禁制帯幅は、3C-SiCで2.39 eV、6H-SiCで3.02 eV、4H-SiCで3.27 eVである。SiC系半導体は間接半導体であるため、伝導帯にある電子と価電子帯にある正孔間の発光再結合確率は低く、高効率発光を実現するためには、後述する発光中心を導入することが好ましい。SiC系半導体は、高結晶性であることが好ましい。

【0036】

(4) ダイヤモンド系半導体

本発明において、ダイヤモンド系半導体とは、sp³混成軌道を主として形成し

ている炭素を主たる成分とした物質である。 sp^3 混成軌道を形成していることにより、半導体的な性質が得られる。 sp^3 混成軌道を形成しているかどうか、またその構成比は、NMRや紫外ラマン分光分析、電子線エネルギー損失スペクトル分析等で調べることができる。炭素原子の80 at%以上が sp^3 混成軌道を形成したものであることが好ましい。さらに好ましくは、全組成原子のうち炭素原子の90 at%以上が sp^3 混成軌道を形成したものである。

【0037】

全体の構成は、結晶質でもアモルファスでも良い。アモルファス中に結晶質が含まれているものでも良い。これらの場合の結晶質は、ダイヤモンドが多結晶構造であることが好ましい。すなわち全体の構成が結晶質の場合でも、あるいはアモルファス中の結晶質の場合でも、含まれる結晶質はダイヤモンド型結晶構造を有することが好ましい。ダイヤモンド型結晶を有する半導体の中では、単結晶ダイヤモンドが好ましい。全体の構成が結晶質の材料としては、多結晶ダイヤモンドや単結晶ダイヤモンドを挙げることができる。

【0038】

アモルファス状の物質としては、アモルファス・カーボン(a-C)、水素化アモルファス・カーボン(a-C:H)、アモルファス窒化炭素(a-C_xN_y)、水素化アモルファス窒化炭素(a-C_xN_y:H)、窒素化アモルファス・カーボン(a-C:N)、ハロゲン化アモルファス・カーボン(a-C:F, a-C:Cl等)が挙げられる。

【0039】

ダイヤモンド結晶中では、電子および正孔の移動度が高い。ダイヤモンド結晶は間接半導体であるため、伝導帯にある電子と価電子帯にある正孔間の発光再結合確率は低い。しかしながら、電子と正孔との準安定状態(自由励起子、エキシトン)が形成でき、この自由励起子からの再結合による発光効率が非常に高いため、効率よく発光を行うことが可能になる。自由励起子は、電子がホールに束縛された状態で、準安定な中間状態となっているものである。本発明の場合、主にn電極から注入される電子が、主にp電極から注入される正孔に束縛されることにより、中間状態である自由励起子が形成される。自由励起子からの発光は、約5.2 eVの光子エネルギーに相当し、波長としては約238 nmとなる。

【0040】

アモルファス状炭素の場合には、伝導帯にある電子と価電子帯にある正孔間の発光再結合確率が高いため、高効率発光を実現することができる。アモルファス状炭素の発光波長は、およそ400~600 nmである。具体的には、典型的テトラヘドラル・アモルファス・カーボン(ta-C)の場合、再結合準位間のエネルギー差は約2.5 eVで、これは波長500 nmに相当する。

【0041】

(5)Si系半導体

本発明におけるSi系半導体とは、Siを主成分とする半導体である。Siを主成分とする半導体にはSi結晶とアモルファスSiとがある。

Si結晶はダイヤモンド構造を有し、禁制帯幅は1.1 eVである。Si結晶は間接半導体であるので、伝導帯にある電子と価電子帯にある正孔間の発光再結合確率は低い。Si結晶は高結晶性であることが好ましい。

【0042】

③ n電極及びp電極

n電極およびp電極は、電極間に電圧を印加することにより、発光層に電子および正孔をそれぞれ注入する機能を有する。発光層を形成している同時二極性半導体との間に障壁を生じない結合を形成可能な物質を選定する。本発明の同時二極性半導体中には、もともとキャリアが存在しないので、電極との間に無障壁接合を実現しないと同時二極性半導体中に電子と正孔とを注入することができないからである。

n電極の場合、n電極の仕事関数が、同時二極性半導体の伝導帯端エネルギーよりも小さければ、両者の間に障壁を生じない組み合わせになる。また、p電極の場合、p電極の仕事関数が、同時二極性半導体の伝導帯端エネルギーよりも大きければ、両者の間に障壁を生じない組み合わせになる。同時二極性半導体と接合を作る際に、化学反応を誘起するなどして、意図しない障壁が形成されないように、物質を選定し、プロセスを工夫しなければならない。

【0043】

同時二極性半導体と無障壁接合が可能な物質は、同時二極性半導体と異なる化

学組成や結晶構造を有しても構わない。例えば、同時二極性半導体にZnSeを選定した場合、ZnSeの伝導帯端エネルギーは3.8 eVと報告されている(Bhargava編、Properties of Wide Bandgap II-VI Semiconductors、38頁、Inspec社、1997年)。一方、Mgの仕事関数は3.46 eVと記載されている(濱川圭弘編著、半導体デバイス工学、31頁、オーム社)。したがって、化学反応などによって両者の間に意図しない障壁が形成されなければ、ZnSeとMgの組み合わせによって無障壁接合が可能になる。

同時二極性半導体と無障壁接合が可能な物質は、金属に限定されない。例えば、MoritaらはCu-Al-Se系の新化合物を発見し、ZnSeとの接合を作つて、電流電圧特性を調べている(ジャパニーズ・ジャーナル・オブ・アプライド・フィジクス、30巻、3802頁、1991年)。このような物質を見いだして、同時二極性半導体と接合を作製し、電子もしくは正孔を注入しても良い。

【0044】

同時二極性半導体と無障壁接合が可能な物質を選定できない場合には、同時二極性半導体と電極との間に、いわゆるコンタクト層を形成すると、キャリアを注入できることがある。

例えば、同時二極性半導体としてZnSe半導体を用いる場合、ZnSeに接して、コンタクト層としてp-ZnSeを形成し、さらにp-ZnSe層にPtなどの金属を接合すると、ZnSe半導体中に正孔を注入できる。この場合、p-ZnSe/Ptの積層構造部分を指して、p電極と呼ぶことができる。n電極についても同様であつて、例えば、n-ZnSe/Alの積層構造を作製すると、ZnSe半導体中に電子を注入できる。

【0045】

p-ZnSeは、ZnSeにアクセプターとしてLiやNを導入して実現されている。特にNは高濃度の正孔を生成させるアクセプターとして有効であり、 $1 \times 10^{18}/\text{cm}^3$ 程度の正孔密度を再現性良く得ることができる(S.W. Limら、Applied Physics Letters, vol. 65 (1994) page 2437)。また、n-ZnSeは、ZnSeにドナーとして、AlやClを導入して実現されている。

【0046】

[実施例]

以下、具体的な実施例を示し、実施の形態をさらに詳細に説明する。

【0047】

(実施例1)

発光層を形成する同時二極性半導体としてZnSeを選択した。n型にドープしたGaAs(100)単結晶ウエハ(キャリア密度 $1 \times 10^{18}/\text{cm}^3$)を、いわゆるピラニア溶液(H_2O_2 、 H_2SO_4 の混合水溶液)に浸漬して、表面の酸化物層を取り除いた。これを速やかに、分子線エピタキシー(MBE)成膜用真空装置(エイコーエンジニアリング製、到達真空度 5×10^{-10} Torr)内に、成膜用基板として導入、固定した。次に、基板を500°Cに昇温し、反射高速電子線回折像(RHEED)を見て、清浄で平坦な表面が露出したことを確認した。さらに基板温度を400°Cに下げ、ZnセルおよびSeセルから、各成分の分子線を放出させ、GaAs(100)基板に照射して、ZnSe薄膜を $2 \mu\text{mt}$ 成膜した。

【0048】

次に、薄膜内のキャリア移動度を、飛行時間測定装置によって測定した。測定装置のブロック図を、図6に示す。薄膜表面および基板背面に金薄膜を形成して、プロッキング電極51としたのち、XYZθステージ52上に薄膜試料を固定した。パルス・ジェネレーター53から発生する矩形電圧を、パワー・アンプ54によって増幅して最大200Vの電圧を薄膜試料の両電極間に印加した。また、両電極はオシロスコープ55に接続して、両電極間に流れる過渡応答電流を測定した。一方、パルス・ジェネレーター53からのトリガーを、YAGレーザー発振器57に入力し、矩形電圧の発生と同期してレーザー光を発生させ、非線形光学素子によって、266nmのレーザー波長に変換し、薄膜試料表面に照射した。レーザー光の半値幅は10nsecであった。電流の過渡応答曲線から、電子の移動度を $70 \text{ cm}^2/\text{Vs}$ 、正孔の移動度を $10 \text{ cm}^2/\text{Vs}$ と求めた。

【0049】

さらに、薄膜試料内の不純物濃度を、二次イオン質量分析装置によって測定した。ZnおよびSe以外には、 $10^{19}/\text{cm}^3$ を超える密度の不純物イオンは検出されず、これから、不純物イオン濃度は0.1%以下であると判断できた。さらに、薄膜

試料表面に電極を形成し、ヒューレットパッカード社製ゲインフェーズアナライザ4194Aにより容量電圧特性を測定した。これにより、薄膜試料内のキャリア密度は $10^{14}/\text{cm}^3$ 以下であると判断した。電子移動度および正孔移動度の平均値 $40\text{ cm}^2/\text{Vs}$ およびキャリア密度 $1 \times 10^{14}/\text{cm}^3$ 以下から、比抵抗値は、 $2 \times 10^5\ \Omega\text{cm}$ 以上と求められた。交流法によって求めた比抵抗値は、 $1 \times 10^9\ \Omega\text{cm}$ であった。

【0050】

(実施例2)

実施例1と同様に、n-GaAs(100)単結晶ウエハを、ピラニア溶液に浸漬、MBE成膜用真空装置内に導入、固定、500℃に昇温し、反射高速電子線回折像(RHEED)を見て、清浄で平坦な表面が露出したことを確認した。つぎに基板温度を400℃に下げ、Znセル、SeセルおよびAlセルから、各成分の分子線を放出させ、n-GaAs(100)基板に照射して、Alをドープしたn型ZnSeを $2\ \mu\text{mt}$ 成膜した。n-GaAs/n-ZnSe構造を持つ、n電極を形成したことになる。つぎに、この層の上に、ZnSe層を200 nmt積層して、発光層とした。さらに、オックスフォード・アプライド・リサーチ社製イオンソースを用い、ラジカル状態のN原子の分子線を、ZnおよびSeの分子線とともに、基板上に照射し、Nをドープしたp-ZnSeを $2\ \mu\text{mt}$ 成膜した。このとき、RHEEDにより、Zn終端したZnSe結晶膜が形成されたことを確認した。最上層にPdを50 nmtスパッタ成膜した後、Auを200 nmt成膜した。p-ZnSe/Pd/Au構造を持つ、p電極を形成したことになる。これは、図1に示した構造の発光ダイオードに対応する。

【0051】

発光ダイオードのn-GaAs基板とAu電極の間に電圧を印加した場合の、電圧電流曲線を図7に示す。良好な非線形性曲線が得られた。立ち上がり電圧は、3V付近で、同時二極性半導体材料であるZnSeの禁制帯幅に対応する。また、図8は5Vの電圧をえた際に得られた発光スペクトルである。aは本実施例の発光ダイオードによるものであり、波長460 nmに半値幅の狭いスペクトルが得られた。波長460 nmは、光エネルギーに換算すると2.7 eVであり、同時二極性半導体材料であるZnSeの禁制帯幅に一致する。発光部位は、p電極/発光層界面から発光層/n電極界面の間にあると考えられる。

なお、本実施例において、ZnSe発光層を形成しないことにより、pn接合型発光ダイオードを作製できる。図8のbは、このようにして作製したpn接合型発光ダイオードによる発光スペクトルである。600 nm付近の波長を有する半値幅の広い発光である。p-ZnSe中に存在するNドーパント由来の発光、もしくは、n-ZnSe中に存在するAlドーパント由来の発光と考えられる。

【0052】

Se蒸着源の代わりにS蒸着源を用い、GaP単結晶基板上に、ZnS発光層を成膜し、図1に示した発光ダイオードを作製した。発光ダイオードのp電極とn電極の間に電圧を10 V印加したところ、335 nmの波長を有する紫外線の発光を得た。

また、Se蒸着源の代わりにTe蒸着源を用い、GaSb単結晶基板上に、ZnTe発光層を成膜し、図1に示した発光ダイオードを作製した。発光ダイオードのp電極とn電極の間に電圧を10 V印加したところ、520 nmの波長を有する緑色の発光を得た。

【0053】

(実施例3)

実施例2において、積層順序を次のように変更した。すなわち、ノンドープのGaAs(100)基板上にNをドープしたp-ZnSeを $2\mu\text{m}$ 成膜した。次に、p-ZnSe膜の一部をマスクで覆い、残部にZnSe層を200 nm積層して、発光層とした。さらにこの上に、Mgを堆積させたのち、Auで覆い、Mg/Auの積層膜としてn電極とした。つぎに、p-ZnSe表面を覆っているマスクを外し、この表面上にPdを蒸着し、さらにAuを堆積させ、p-ZnSe/Pd/Au構造を作って、p電極とした。両電極間に10 Vの電圧を印加したところ、図8aと同様の発光スペクトルを得た。

【0054】

(実施例4)

サファイア基板上に、発光層としてGaN薄膜をCVD法により成膜し、図1に示す発光ダイオードを作製した。ここで、p電極材料にはp-GaN:Mgを用い、また、n電極材料にはn-GaN:Siを用いた。発光ダイオードのp電極とn電極の間に電圧を10 V印加したところ、400 nm付近の波長を有する紫色の発光を得た。

発光層として、InNをCVD法により成膜した場合にも、AlNをCVD法により成膜した場合にも、同様に良好な電流注入発光を得た。

【0055】

(実施例5)

Si基板上にLP-CVD法で3C-SiC単結晶薄膜成膜し、図1に示す発光ダイオードを作製した。ここで、p電極とn電極は、3C-SiC単結晶薄膜にイオン注入法によってNもしくはPを注入することにより、p-3C-SiC層とn-3C-SiC層を形成し、それぞれに金属電極を接触させて形成した。発光ダイオードのp電極とn電極の間に電圧を10V印加したところ、520nm付近の波長を有する緑色の発光を得た。

【0056】

(実施例6)

基板として、表面が一辺2mmの正方形、および厚さ0.2mmの板状形状の高圧高温合成Ib型ダイヤモンド単結晶を準備した。ダイヤモンド基板表面は、ダイヤモンド結晶の{100}面ファセットを機械的に平面研磨し、形成したものである。そのミス・オリエンテーション角は0.5°である。この結晶ダイヤモンド基板を、イソ・プロパノールおよびアセトンを用いて超音波洗浄し、その後、クロム酸溶液中への浸漬と同時に超音波の印加を行い、さらにいわゆるRCA洗浄工程を施し、吸着物質の除去を行った。

【0057】

つぎに、ダイヤモンド基板上に、マイクロ波プラズマ化学気相成長(以下MW-PCVD)法を用いてアンドープのホモエピタキシャル・ダイヤモンド膜を成膜した。洗浄済みダイヤモンド基板をMW-PCVD装置の成膜室内に接地された加熱装置付基板ホルダーに取り付け、超高真空排気(背景圧力は 5×10^{-6} Pa)を行った。基板ホルダーを抵抗加熱式ヒーターによって一定温度に加熱し、基板ホルダー上に積載されたダイヤモンド基板が基板ヒーターの設定温度と熱平衡になる条件下において、周波数2.5GHzのマイクロ波を成膜室内に導入し、材料ガスプラズマを生成し、基板上にホモエピタキシャル・アンドープ・ダイヤモンド結晶膜を形成した。

材料ガスは高純度メタン(CH₄)を高純度水素(H₂)によって希釈した混合ガスと

し、メタンの濃度は3分子%(試料#1)、1分子%(試料#2)および0.2分子%(試料#3)、材料ガスの総流量は100 sccm、成膜室内の材料ガス圧力は30 Torr、また、投入マイクロ波電力は1 kW、基板温度は900 °Cとした。形成されたダイヤモンド結晶膜は{100}面をその成長面表面とし、膜厚は10 μmであった。

【0058】

図1に示す本発明の発光ダイオードを作製するため、基板上にp電極として、p-ダイヤモンド・コンタクト層を形成し、その上に発光層であるアンドープ・ダイヤモンド層を積層し、さらにn電極としてn-ダイヤモンド・コンタクト層を形成し、さらに両コンタクト層に接して、金属電極を形成した。ここで、p-コンタクト層とp電極の接触を取るため、発光層とn-コンタクト層の積層に際しては、p-コンタクト層表面の一部をマスクして、p-コンタクト層が表面に露出する構造とした。

最後に、これら、n電極およびp電極にそれぞれ導線と電源を接続し、電圧を印加した。n電極電位を基準電位すなわち0 Vとし、p電極電位を正の値とした。電圧として50 Vを印加したところ、5.2 eV(波長約238 nm)に発光が見られた。

【0059】

【発明の効果】

以上のように、本発明によれば発光層にドーパントを導入しないので、低欠陥密度の結晶育成が可能であり、ドーパントによる発光効率の低下や、ドーパントによる不要な波長の発光がなく、効率的な発光が行える、発光ダイオードを提供できる。また、発光層としてダイヤモンド、II-VI族化合物半導体、III-V族化合物半導体などを用いることができるので、易動度が大きく、十分な発光強度が得られるのみならず、紫外光から赤外光までの広い範囲に亘って発光波長を選択できる。さらに、p型半導体とn型半導体を必要としないので、p型化やn型化が困難な半導体を発光層に用いて、発光ダイオードを作製できる。

【図面の簡単な説明】

【図1】

本発明による一つの実施の形態である発光ダイオードの構造を示す図である。

【図2】

従来の発光ダイオードの構造を示す図である。

【図3】

図1に示す発光ダイオード内の再結合発光速度を、シミュレーションにより検討した結果を、 $0 \sim 1 \times 10^{20}/\text{cm}^3$ の範囲で、グラデーションで示した図であり、正孔移動度に応じて、a～dの4つの図からなり、そのうちのaとbとを示す図であり、a～d各図は発光ダイオードの断面を示したもので、横軸は基板表面に平行な方向に沿った、素子の幅を示し、いずれの場合も素子の幅は10 nmであり、また、縦軸は基板に垂直な方向に沿った、素子の厚みを示す。

【図4】

図3と同じく、a～dの4つの図のうち、cとdとを示す図である。

【図5】

図1に示した発光ダイオードの電圧電流特性を、シミュレーションにより検討した結果を示す図であり、横軸は陽極に印加した電圧(V)、縦軸は陽極電流(A)である。

【図6】

(実施例1)で用いた、飛行時間測定装置のブロック図である。

【図7】

(実施例2)で作製した、発光ダイオードの電圧電流曲線である。

【図8】

(実施例2)で作製した、発光ダイオードの発光スペクトルであって、aは、本発明の発光ダイオードの発光スペクトルであり、bは、比較例として作製した、pn接合型発光ダイオードの発光スペクトルである。

【符号の説明】

- 1 1 基板
- 1 2 n電極（またはp電極）
- 1 3 発光層（同時二極性半導体）
- 1 4 p電極（1 2がp電極のとき、この1 4はn電極）
- 2 1 基板
- 2 2 金属電極

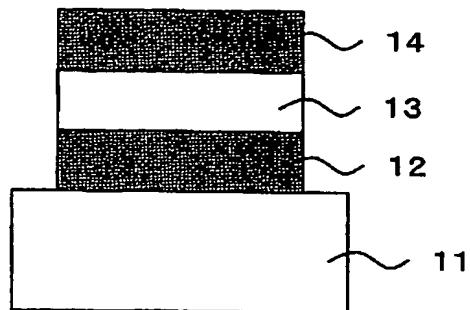
23 p型半導体

24 n型半導体

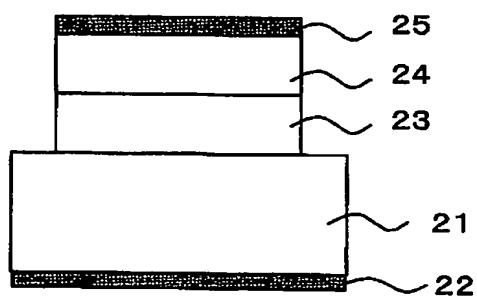
25 金属電極

【書類名】 図面

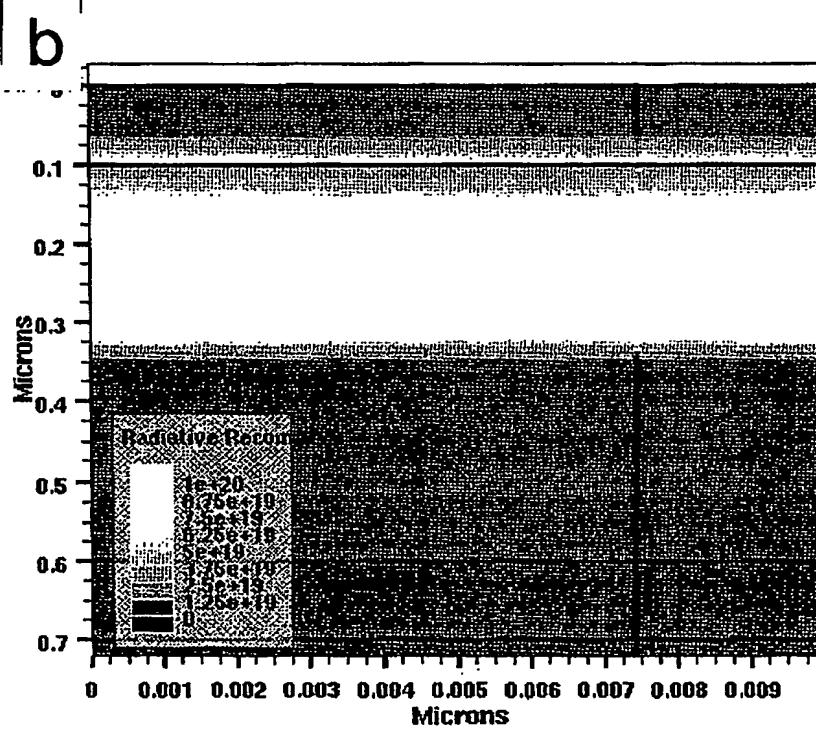
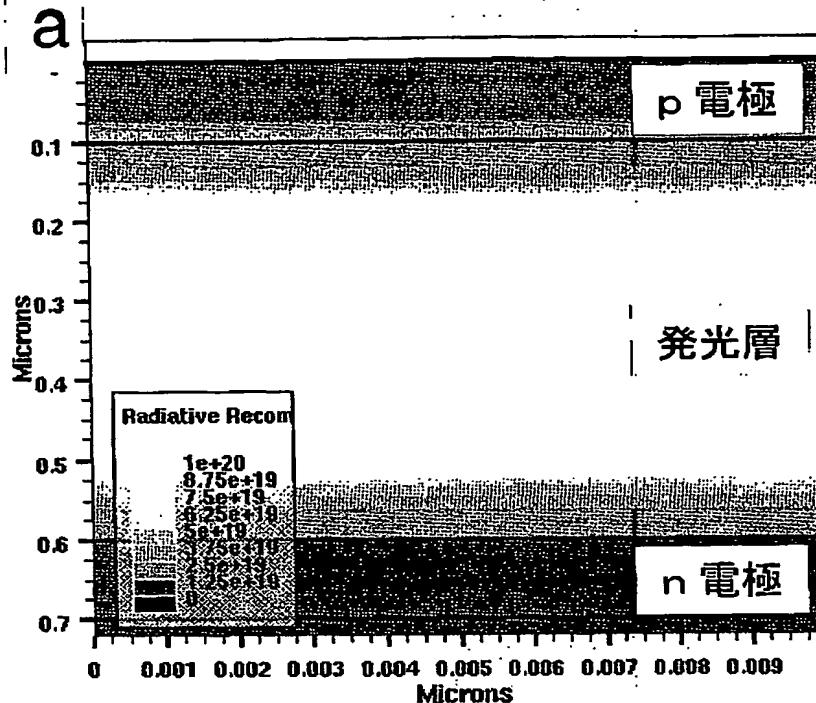
【図 1】



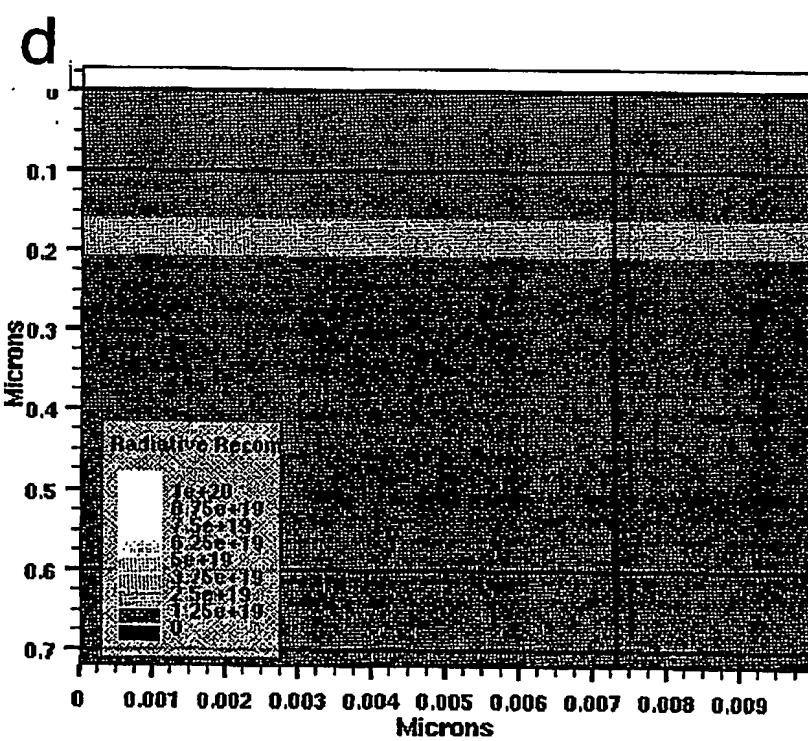
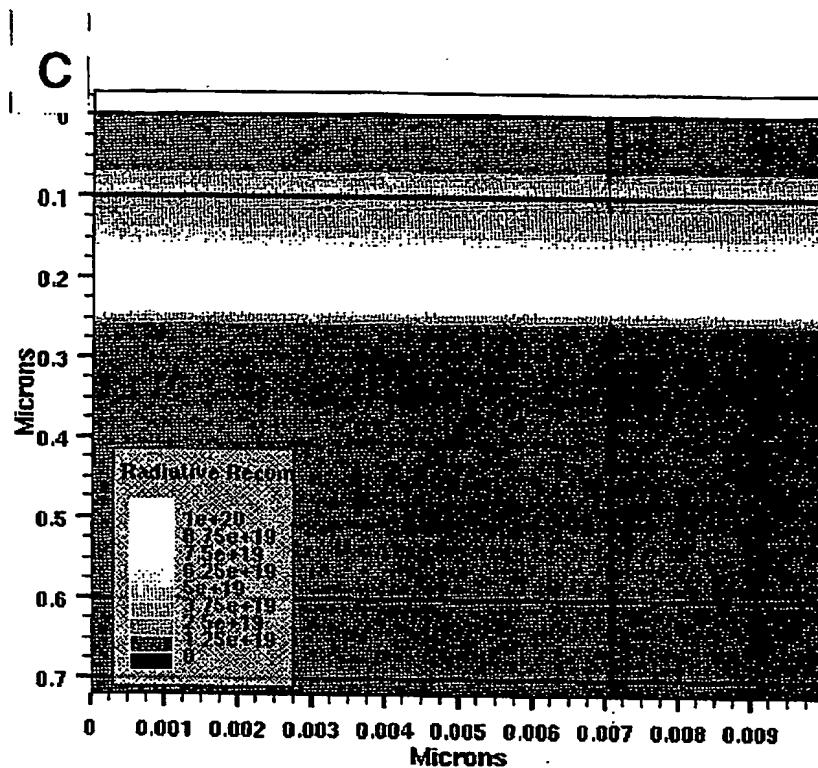
【図 2】



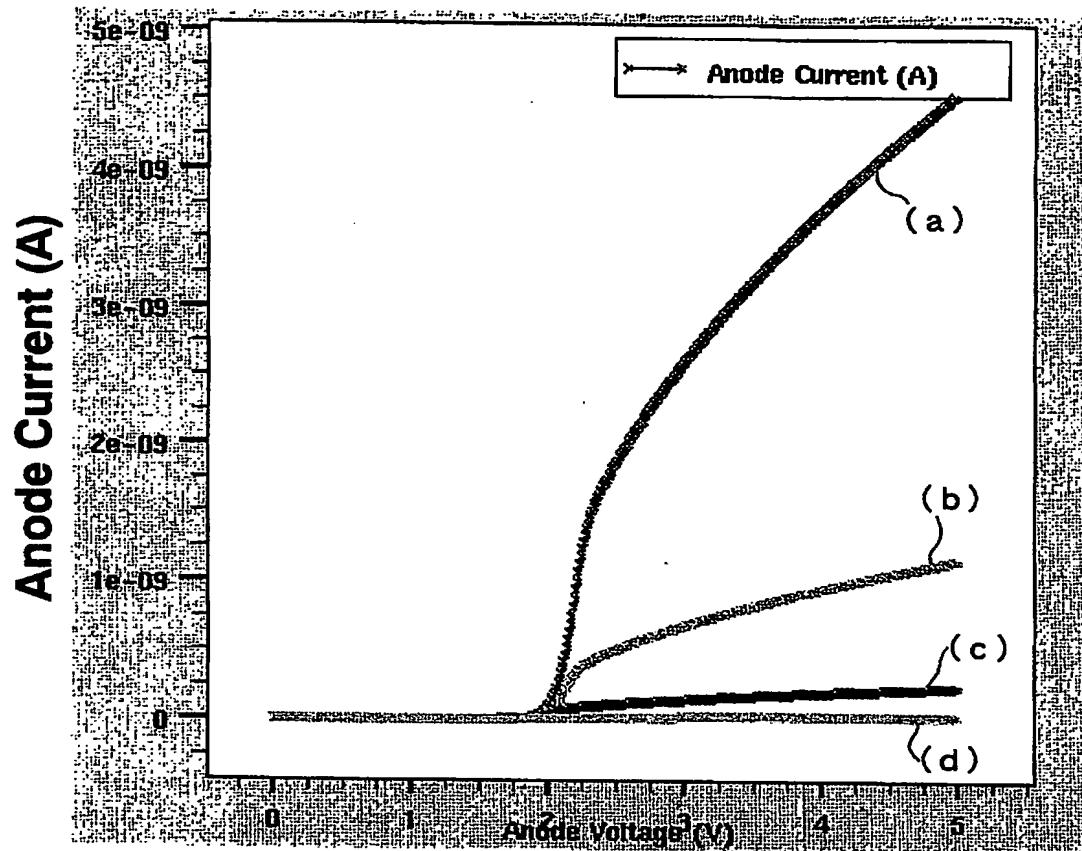
【図3】



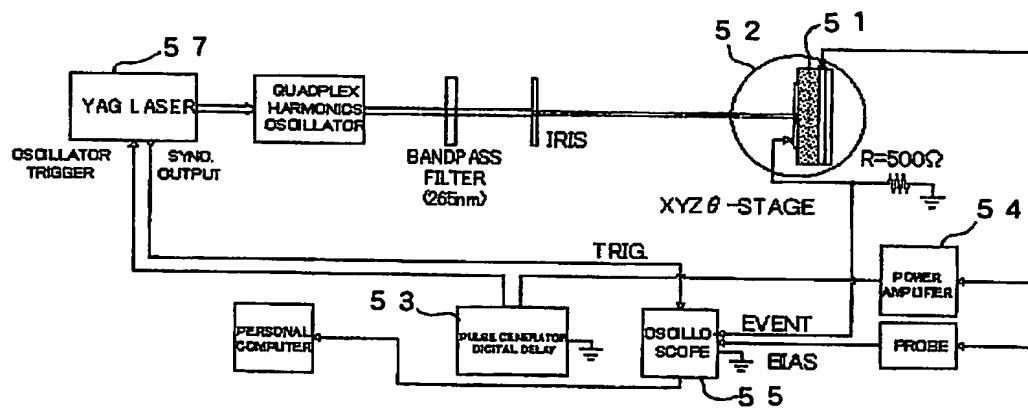
【図 4】



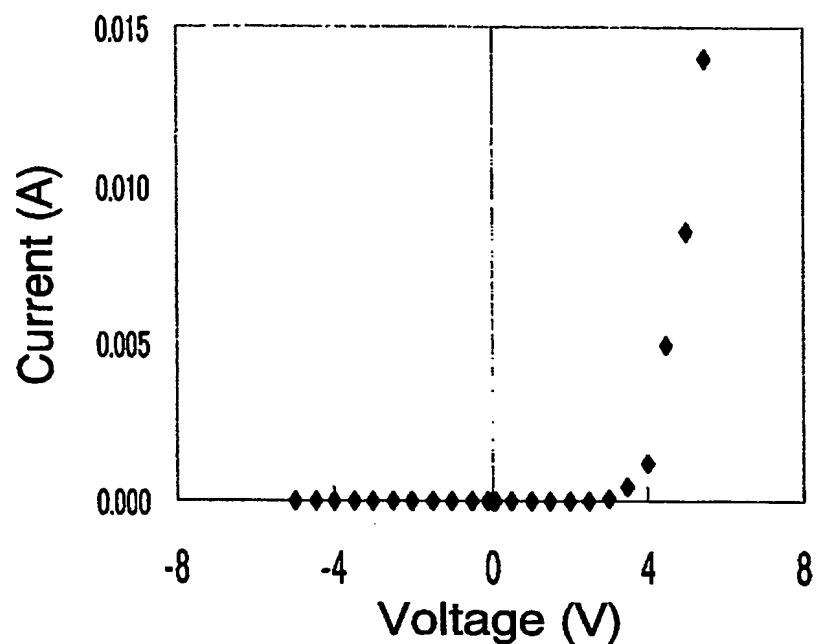
【図5】



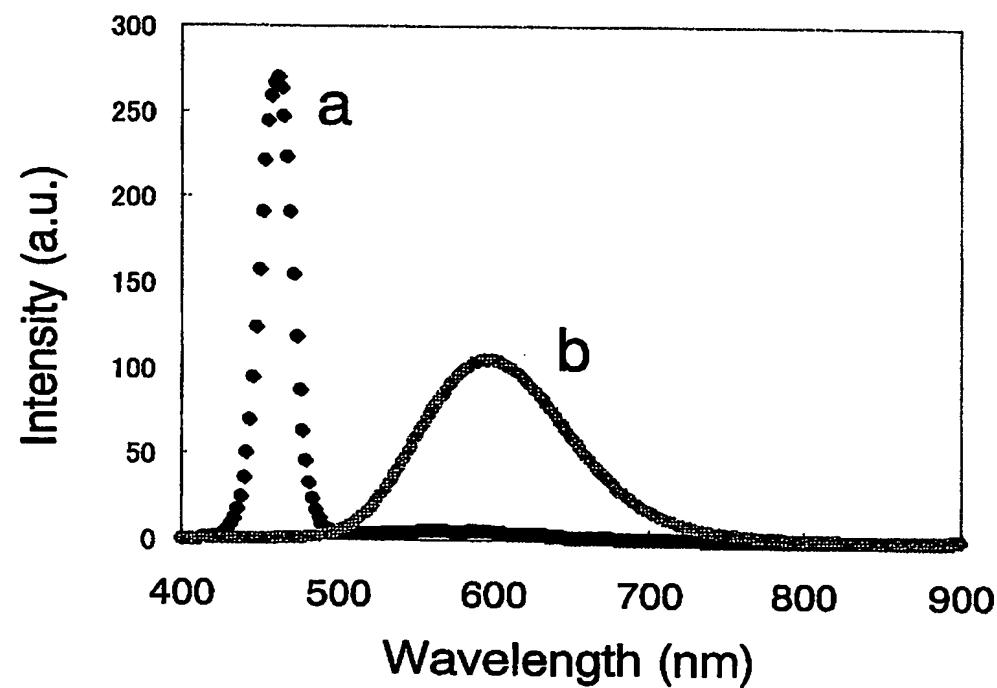
【図6】



【図7】



【図8】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 ドーパントによる結晶の歪み・欠陥が生じず、発光効率が高く、不要な波長の発光が無く、発光波長を広く選択できる、発光ダイオードを提供する。

【解決手段】 ドーパントを添加しない同時二極性半導体を発光層とし、これに電子注入用電極すなわち n 電極と、正孔注入用電極すなわち p 電極とを接合して、発光ダイオードとした。

【選択図】 図 1

特願 2003-119065

出願人履歴情報

識別番号 [000113263]

1. 変更年月日 2002年12月10日

[変更理由] 名称変更

住所 東京都新宿区中落合2丁目7番5号
氏名 HOYA株式会社

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- BLACK BORDERS**
- IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**
- FADED TEXT OR DRAWING**
- BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**
- SKEWED/SLANTED IMAGES**
- COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**
- GRAY SCALE DOCUMENTS**
- LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**
- REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**
- OTHER:** _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.